

## PROCEDE ET DISPOSITIF DE FILTRAGE ET D'ATTENUATION DES VIBRATIONS

Le secteur technique de la présente invention est celui du filtrage et de l'atténuation vibro-acoustique des vibrations  
5 d'origine mécanique transmises entre deux structures afin de les protéger mutuellement de leur environnement vibratoire.

Tout élément ou structure, inclus dans un système mécanique comportant une source de vibrations d'origine mécanique, reçoit des excitations vibratoires et/ou acoustiques provenant de la  
10 source, modifiée voir amplifiée par la réponse dynamique de chacun des éléments structurels constituant le système.

Pour assurer la tenue mécanique du système, les structures ou les éléments doivent être reliés entre eux par des fixations intégrant une rigidité statique et dynamique suffisante.

15 Pour diminuer l'énergie vibratoire transmise d'une structure à une autre quand elles sont reliées mécaniquement, deux types de solutions connues sont utilisés à ce jour : filtrage et atténuation.

La première solution consiste à filtrer mécaniquement les  
20 excitations d'entrée de la structure à protéger. L'efficacité du système filtrant est intrinsèquement liée à la fréquence de résonance du système sous charge : plus ses fréquences de coupure sont basses, plus le système est efficace. Toutefois, cette souplesse causée par une fréquence de coupure basse,  
25 conduit à de forts débattements sous charge, incompatibles avec l'environnement proche et qui précipitent la ruine par fatigue du système.

Pour ce faire, le filtrage peut être obtenu en intégrant aux interfaces de la structure à protéger, des systèmes souples  
30 élastiques (lame, ressort métallique ou composite) ou hydraulique-élastiques (fluide) ou hyper-élastiques (élastomère, silicone, alliage spécifique).

La suspension élastique, bien qu'elle assure la tenue statique et dynamique avec des gains vibratoires et/ou  
35 acoustiques potentiels, présente une résonance propre très faiblement amortie, injectant à cette fréquence, des niveaux rédhibitoires dans la structure à protéger (déplacements ou

accélérations en basse fréquence au niveau des modes résonnant).

Les brevets FR-2 674 590 et JP-2 658 887 décrivent des suspensions hydrauliques qui sont constituées de chambres  
5 remplies de fluide visqueux communiquant par un canal étroit. Lorsque la suspension est sollicitée par un choc ou par des vibrations induisant des déplacements relatifs, le fluide va circuler préférentiellement vers une chambre ou vers une autre suivant la direction d'excitation, avec une fonction de  
10 laminage qui va convertir l'énergie vibratoire en échauffement local. L'incompressibilité du fluide participe à la tenue de la suspension et sa circulation permet un amortissement des efforts introduits. Ces suspensions sont largement utilisées dans le domaine automobile, en  
15 particulier pour découpler le châssis du train de roulement. Toutefois, elles ne fonctionnent que sur un seul degré de liberté et la viscosité du fluide ne permet pas d'assurer une performance du comportement sur une bande large de fréquence. Ces systèmes suspension/amortisseur sont réservés au filtrage  
20 en très basse fréquence.

Des suspensions hyper-élastiques sont constituées de blocs épais de matériaux élastomères suivant, par exemple, les brevets FR-2 704 612 ou FR-2 762 564. La souplesse de ces suspensions est incompatible avec le besoin de rigidité  
25 statique et dynamique et elle implique alors la mise en place de butées. Le comportement de ces systèmes, forcément tri-axial, est complexe, voire aléatoire ce qui limite la prédiction du dimensionnement. De plus, leur comportement en haute fréquence se dégrade (effet de raidissement structurel)  
30 et leur architecture matériau supporte mal les niveaux injectés (vieillissement prématuré) ce qui impose de fortes marges de sécurité dans leur dimensionnement.

Pour palier les inconvénients ci-dessus, des solutions de suspensions hyper-élastiques sont constituées de couches  
35 superposées alternées de matériau amortissant et de métal avec ou sans butée. Les lames travaillent alors en flexion (brevet FR-2 678 221), en cisaillement (brevet EP-0 155 209) ou en flambage (brevet FR-2 672 351), en assurant une

fréquence basse de coupure et la tenue mécanique. Compte tenu de l'architecture du procédé d'amortissement (couches alternées de matériaux hyper élastiques et métalliques), les performances d'amortissement sont faibles. De plus, lorsque  
5 la butée est sollicitée sur le seul degré de liberté, la raideur augmente brutalement et réinjecte de forts niveaux vibratoires dans la structure.

Indépendamment du filtrage, pour réduire les nuisances vibratoires et acoustiques rayonnées par une structure  
10 mécanique, de multiples solutions connues sont basées sur le critère de séparation entre la fréquence de résonance de la structure et la fréquence de l'excitation en jouant sur les paramètres masse et raideur.

Une solution consiste à augmenter la masse de la  
15 structure par recouvrement des surfaces rayonnantes avec des matériaux à haute densité (par exemple des produits bitumineux). Cette solution présente une certaine efficacité sur la bande des hautes fréquences de la structure mais dégrade son comportement en basse fréquence. Elle entraîne de  
20 plus, une augmentation substantielle de l'encombrement et de la masse.

Une autre solution consiste à augmenter la raideur de la structure de manière à rejeter la fréquence des modes résonnants au-delà du spectre d'excitation. Cet objectif est  
25 difficile à atteindre car ces structures hyper-raides sont logiquement alourdies par les systèmes de raidissage : le rapport coût sur performance reste élevé. De plus, la résistance à la fatigue est réduite à cause des concentrations ponctuelles de contraintes avec l'apparition  
30 de nouveau modes de résonance dans les hautes fréquences. Cette solution ne résout pas la problématique de résonance dans les hautes fréquences.

Une classe de solution initie la notion d'apport d'amortissement à partir de matériau viscoélastique  
35 précontraint. Cette solution permet de dissiper les vibrations des structures pouvant être à l'origine d'un rayonnement acoustique, grâce au recouvrement de la surface rayonnante par un sandwich de matériau viscoélastique / film

métallique. Cette solution entraîne un surplus de masse pour des performances d'amortissement limitées.

Enfin, une solution, telle que définie dans un document international déposé par la demanderesse WO97/11451 permet  
5 d'accroître significativement l'amortissement des structures sur une large bande de fréquence. Cette technologie, judicieusement fixée en parallèle de la surface rayonnante d'une structure soumise à des excitations vibratoires, permet de dévier les ondes vibratoires, de les amplifier puis de  
10 convertir les énergies vibratoires en une autre forme d'énergie. La dissipation d'énergie, ainsi engendrée dans la structure par le dispositif parallèle, permet d'apporter un fort amortissement sur un grand nombre de modes résonnants avec un impact limité sur la masse et la raideur de la  
15 structure.

Cet état de l'art permet donc d'identifier d'un côté des solutions dites "séries" offrant une tenue statique et dynamique en assurant le filtrage sur une bande réduite de fréquences basses ou hautes; d'un autre côté, des solutions  
20 dites "parallèles" assurant une forte atténuation des réponses vibratoires des modes propres des structures sur une large bande de fréquence.

La demande WO01/92754 décrit une poutre présentant une structure tout à fait particulière destinée à être insérée  
25 entre une structure vibrante et une structure fixe. Telle que présentée, sa conformation implique une forte rigidité statique et dynamique, incompatible avec un filtrage et une atténuation basse fréquence.

Ainsi, il n'existe pas de solutions technologiques  
30 "séries" permettant de combiner l'ensemble des fonctionnalités indiquées ci-dessus, à savoir un fort amortissement et un fonctionnement sur une large bande de fréquence.

C'est l'objet de la présente invention que de fournir un  
35 tel système.

L'invention a donc pour but de permettre un filtrage avec un important amortissement des amplifications aux fréquences

de résonance entre deux structures, sur une très large bande de fréquence et d'amplitude d'efforts mécaniques appliqués.

L'invention a pour objet un procédé d'atténuation et de filtrage de l'amplitude des vibrations d'origine mécanique d'une structure à découpler, caractérisé en ce qu'on réalise un filtrage de l'onde vibratoire incidente associé à une atténuation, par apport d'amortissement, de l'onde vibratoire filtrée transmise à la structure, sur une très large bande de fréquence et d'amplitude d'efforts mécaniques appliqués sur ladite structure.

Avantageusement, le procédé associe une suspension série sous la forme d'un ensemble suspension monté en série entre deux éléments de la structure, à un dispositif amortisseur monté en parallèle de la suspension.

Avantageusement, le dispositif amortisseur est de type parallèle et présente une géométrie interne apte à réaliser une déviation, éventuellement une amplification et une localisation des vibrations pour assurer une atténuation de la l'onde vibratoire filtrée, et la suspension série présente en même temps une fonction de support statique suffisamment rigide, et des fonctions dynamiques de filtrage à caractéristiques variables suivant le niveau du chargement appliqué à la structure.

L'invention concerne également un dispositif de filtrage et d'atténuation des vibrations entre un premier élément soumis à une onde vibratoire incidente et un second élément rayonnant une onde vibratoire filtrée, caractérisé en ce qu'il comprend une structure d'interface de transfert d'énergie vibratoire constituée d'au moins un composant élastique et d'au moins un composant dissipatif fixé en parallèle du composant élastique, pour assurer une filtration et une atténuation de l'onde vibratoire incidente.

Avantageusement, la structure d'interface comprend une pluralité de composants élastiques, positionnés en série entre les deux éléments, et une pluralité de composants dissipatifs fixés chacun en parallèle de chaque composant élastique.

Avantageusement encore, le composant dissipatif est constitué de deux armatures rigides distinctes permettant d'assurer, ponctuellement ou continûment, des fonctions de déviation, éventuellement, par un effet de bras de levier, d'amplification des énergies vibratoires engendrées par les composants élastiques vers un matériau dissipatif interposé entre elles, ledit composant dissipatif apportant de l'amortissement au composant élastique.

Selon une réalisation, le composant dissipatif présente un profil linéique et est constitué d'un ensemble d'armatures rigides alignées, fixées par leurs bases sur le composant élastique et indépendantes entre-elles de telle façon que leurs mouvements relatifs, correspondant à une amplification par effet de bras de levier de la réponse vibratoire du composant élastique, sont transmis par leur extrémité à un matériau dissipatif, sur lequel est montée une plaque de contrainte continue ou non, pour transférer l'énergie vibratoire vers l'ensemble d'armatures.

Selon une autre réalisation, le composant dissipatif est de révolution et est constitué d'un ensemble d'armatures rigides, réparties cycliquement ou non autour d'une partie centrale, fixé rigidement ou non à une extrémité sur le composant élastique d'un côté, et indépendant à l'autre extrémité, de façon que les mouvements relatifs de ces armatures soient transmis à des matériaux dissipatifs, et de l'autre à une plaque de contrainte continue ou non apte à assurer, au travers des matériaux dissipatifs, le maintien de l'ensemble des armatures.

Selon encore une autre réalisation, le composant élastique comprend un assemblage de deux sous-ensembles de révolution, à profil évolutif continu ou non de type lame élastique, dont une au moins de leurs extrémités présente une surface de contact évolutive, l'ensemble étant complété par une zone dans laquelle sont insérés les matériaux dissipatifs.

Avantageusement, les lames élastiques présentent une raideur potentiellement non linéaire conférée par leur profil géométrique évolutif pour assurer un contact progressif de la

lame avec le profil complémentaire de l'autre lame, pour assurer une fréquence de filtrage évolutive et un débattement relatif maîtrisé des lames en fonction de la charge dynamique appliquée.

5 Selon encore une autre réalisation, la structure d'interface est de révolution et est composée d'une lame élastique reliée rigidement à l'élément et d'une lame élastique reliée rigidement à l'élément, les lames étant au niveau de leurs extrémités libres reliées entre elles et  
10 enroulées autour d'un anneau élastique ou non par l'intermédiaire de couches de matériaux dissipatifs, et venant en contact direct en fonction de la charge dynamique appliquée pour assurer la fonction de filtrage et d'atténuation non linéaire.

15 Avantageusement, les lames élastiques présentent une raideur potentiellement non linéaire grâce à leur profil géométrique évolutif et par le contact progressif entre les lames dont les profils sont mutuellement complémentaires de leur déformation maximale admissible respective, pour assurer  
20 en fonction de la charge dynamique appliquée la fréquence de filtrage évolutive et un débattement relatif maîtrisé voire limité des éléments.

Avantageusement encore, le matériau dissipatif réalise la conversion de l'énergie vibratoire en une autre forme  
25 d'énergie, par exemple thermique par frottement entre matériaux ou avec des matériaux viscoélastiques, électrique avec des matériaux piézoélectriques, magnétique avec des matériaux magnéto-strictifs, ou toute autre forme d'énergie.

Avantageusement encore, le composant élastique présente  
30 au moins deux dimensions et peut être formé par des assemblages de poutres, de barres droites ou courbes, de volumes pleins, de plaques planes ou de formes plus complexes et en ce que ses propriétés élastiques sont extraites à partir de matériaux élastiques, métalliques ou non, homogène  
35 ou non, isotropes ou anisotropes.

Un résultat de la présente invention réside dans le fait que le procédé de filtrage et d'atténuation de l'amplitude des phénomènes vibratoires d'origines mécaniques, transmis à,

et/ou rayonnés par des structures vers un élément ou vers une autre partie de structure est remarquable en ce qu'il associe les fonctions de support, filtrage et amortissement sur une large gamme de fréquences de fonctionnement et de charge  
5 d'excitation.

Un autre résultat de l'invention réside dans le filtrage et l'atténuation de l'amplitude des phénomènes vibratoires d'origines mécaniques transmis à, et/ou rayonnés par des structures vers un élément ou vers une autre partie de  
10 structure, est remarquable en ce qu'il réalise une fonction dite "série" en l'associant avec un processus dit en "parallèle", fonctionnant sur une large gamme de fréquences. Cette association en l'améliorant permet d'en élargir le champ d'application.

15 Un autre résultat de l'invention réside dans la maîtrise de la non-linéarité introduite dans la structure série et est remarquable en ce qu'elle permet de contrôler les débattements admissibles, ceci en fonction de la charge à appliquer sur cette structure.

20 Un autre résultat de l'invention réside dans un procédé de construction d'une suspension dite série d'un objet ou d'une structure quelconque, basé sur la multiplicité interne des dispositifs et remarquable en ce que ce procédé permet une utilisation de la suspension suivant un ou plusieurs  
25 degrés de liberté.

Un autre résultat de l'invention réside dans l'association d'une suspension dite série d'un objet introduisant des non-linéarités, avec le procédé dit parallèle est remarquable en ce qu'il permet de réunir les  
30 performances des deux dispositifs (large bande de fréquence, fort amortissement, forte charge d'excitation) dans un faible volume et pour une faible masse.

Un autre résultat de l'invention réside dans le filtrage par une suspension élastique, placée en série entre les  
35 structures à isoler, dont la souplesse potentiellement non linéaire, permet de maximiser la fonction filtrante au-delà de sa propre fréquence de résonance.



Un autre résultat encore de l'invention réside dans le fait que la suspension élastique permet d'assurer le maintien statique de la charge et des amplitudes de déplacements dynamiques précis et limités sur la large gamme de fréquence et de charges d'excitation.

Un autre résultat encore de l'invention réside dans le fait que la suspension élastique série assure une déviation du sens de vibration de l'onde incidente vers un dispositif amortisseur placé en parallèle de cette suspension.

Un autre résultat encore de l'invention réside dans la capacité du dispositif amortisseur d'apporter de l'amortissement structurel dans la suspension élastique et d'en atténuer, de ce fait, sa réponse vibratoire.

Avantageusement, l'association de deux structures avec un dispositif amortisseur permet de convertir les énergies vibratoires associées à l'onde incidente en une autre forme d'énergie dissipée localement. Les caractéristiques d'amortissement du dispositif global ainsi réalisé, sont alors celles du dispositif amortisseur associé. Partant de cet état de fait, la demanderesse a mené des recherches visant à améliorer les dispositifs amortisseurs parallèles précédemment développés par elle et donnant déjà une forte atténuation de la réponse vibratoire des modes résonnants et de déformation de la suspension élastique, pour développer ses performances dans le cadre d'une association avec un dispositif série, élargissant ainsi son champ d'application.

L'introduction de non-linéarités et de leur maîtrise permet à la suspension élastique série de limiter les débattements de l'élément suspendu, dans le cas de forte charge d'excitation, ceci sans re-injecter de perturbations ni chocs supplémentaires dans l'élément.

L'association de non-linéarités avec les dispositifs amortissants parallèles connus est remarquable en ce qu'elle améliore l'exploitation de ses caractéristiques d'amortissement, notamment dans le cas de forte charge d'excitation.

L'association d'une suspension série non-linéaire avec les dispositifs amortissants parallèles connus est

remarquable en ce qu'elle permet de réaliser une suspension ayant de bonnes performances d'amortissement (large bande de fréquence, fort amortissement, forte charge d'excitation) dans un volume restreint avec un faible poids.

- 5 La multiplicité interne des dispositifs amortisseurs et des non-linéarités est remarquable en ce qu'elle donne à la suspension les bonnes performances déjà mentionnées, ceci suivant un ou plusieurs degrés de liberté.

10 La géométrie interne de la suspension série, réalisée avec des éléments mécaniques, est remarquable en ce que le positionnement statique qu'elle assure n'évolue pas dans le temps comme c'est le cas des suspensions séries connues composée d'élastomères.

15 D'autres caractéristiques, détails et résultats de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture du complément de description qui va suivre, donné à titre d'exemple, en relation avec des dessins sur lesquels :

- les figures 1 et 2 représentent un premier exemple de réalisation d'un matériau selon l'invention dans des configurations de niveau d'ondes vibratoires transmises,
- 20 - les figures 3a et 3b représentent un autre exemple de réalisation du dispositif selon l'invention,
- la figure 4 illustre le principe d'amortissement unidirectionnel selon l'invention,
- 25 - les figures 5 à 7 illustrent des variantes du principe permettant un amortissement et une dissipation bidirectionnelle,
- la figure 8 représente une vue d'un autre exemple de réalisation du composant dissipatif multidirectionnel,
- 30 - la figure 9 est une coupe AA de la figure 8,
- les figures 10 et 11 illustrent un autre exemple de réalisation du dispositif selon l'invention, et
- les figures 12 et 13 illustrent une extension du concept permettant un amortissement et une dissipation multidirectionnelle.
- 35

Pour mieux illustrer le procédé et le dispositif selon l'invention, on va considérer l'application d'une onde, d'origine mécanique, vibratoire, micro-vibratoire ou nano-

vibratoire en entrée par sa surface incidente et une onde vibratoire, potentiellement sonore, en sortie par sa surface rayonnante.

Selon le comportement dynamique d'un matériau placé entre  
5 une surface incidente et rayonnante, l'onde transmise sera plus ou moins atténuée. Ainsi, lorsque le comportement du matériau est «neutre» devant le champ d'excitation, l'onde incidente est intégralement transmise à la surface rayonnante. A l'inverse, la souplesse du matériau peut  
10 générer une augmentation de l'onde rayonnante (surtension à la résonance du système), avant que le filtrage ne devienne efficace.

L'invention vise le filtrage de l'onde incidente et l'atténuation de l'onde vibratoire générée par la surface  
15 rayonnante d'un matériau constituant un élément soumis à des vibrations, d'origine mécanique, au niveau de la surface incidente. Ledit matériau est composé d'une association de structures élastiques et dissipatives définissant une structure d'interface de transfert d'énergie vibratoire.

20 Par matériau à structure dissipative, on entend un matériau dont les particules génèrent des efforts non proportionnels aux déplacements relatifs qui leur sont imposés et qui ne restituent pas la totalité des énergies de déformations transmises.

25 Suivant l'invention, le matériau dissipatif peut réaliser la conversion de l'énergie vibratoire en une énergie thermique à partir de ses caractéristiques viscoélastiques, par frottement entre deux structures ou tout autre mode.

Suivant l'invention, le matériau dissipatif peut réaliser  
30 la conversion de l'énergie vibratoire en une énergie électrique à partir de ses caractéristiques piézoélectriques ou magnéto-strictives.

On a représenté sur les figures 1 et 2, un assemblage composé d'une combinaison par juxtaposition ou superposition  
35 ou emboîtement transversal ou longitudinal de motifs géométriques pluridimensionnels qui réalise une structure anisotrope dissymétrique, c'est à dire présentant suivant l'un quelconque de ses axes des motifs pleins dissymétriques

ou non, et des cavités dissymétriques ou non qui contribuent à perturber la transmission de l'onde, quelle que soit sa direction originelle. La structure selon la présente description est un corps géométrique entrant dans la  
5 composition de la structure du dispositif et dans la mise en œuvre du procédé. Cette structure a au moins deux dimensions et peut être formée par des assemblages de poutres, de barres droites ou courbes, de volumes pleins, de plaques planes ou de formes plus complexes, ainsi qu'il sera en détail ci-  
10 après.

Sur la figure 1, on a schématisé le principe retenu pour amplifier les déformations et basé sur l'utilisation d'un matériau ou structure 10 fortement anisotrope. La structure d'interface 10 est interposée entre un premier élément 2 fixé  
15 rigidement à un support (non représenté) et un second élément 3 soumis à des vibrations. Cette structure 10 est constituée d'un ensemble de lames élastiques 1 et de composants dissipatifs 7. On donne à ces lames 1 une géométrie et une orientation qui pilotent l'évolution de la non-linéarité de  
20 raideur en fonction de leur allongement, on voit que les lames 1 présentent une partie 9 fixée à l'élément 3 et une autre partie 11 fixée à l'élément 2. Sur chaque lame, on implante un dispositif amortisseur 7 constitué de deux armatures 4 et 5 dont les extrémités libres sont réunies à  
25 l'aide d'une structure dissipative 6.

Bien que le système soit complètement bijectif, on note, par souci de simplification, valable pour l'ensemble des réalisations décrites ci-après, l'élément 2 comme l'élément par lequel est transmis l'onde vibratoire incidente et  
30 l'élément 3, comme l'élément transmettant l'onde vibratoire rayonnante.

Lorsque l'effort  $f_1$  transmis par l'onde d'origine vibratoire  $O_i$  est appliqué, les lames, en déviant le sens vibratoire incident, se déforment suivant un mécanisme établi  
35 d'avance sur leur propre comportement modal comme représenté à titre d'illustration sur la figure 2. En parallèle de chaque lame, le dispositif amortisseur 7 permet grâce aux armatures 4 et 5 judicieusement positionnées sur chaque lame,

de dévier, puis éventuellement d'amplifier ces énergies. Ces dernières sont enfin transmises dans la ou les directions privilégiées au sein de la structure dissipative 6, par l'intermédiaire des armatures 4 et 5.

5        Sous l'action du chargement dynamique et grâce aux types de déformation potentiels des lames 1, fonction de leur profil évolutif, la distribution des énergies vibratoires et le niveau des contraintes internes dans les lames 1 et par conséquent leur raideur, sont modifiés. Ce mécanisme étant  
10        établi par avance, le dispositif amortisseur 7, à efficacité large bande, est donc toujours capable de dissiper ces énergies. Sur la figure 1, où on considère le taux de déformation des lames 1 faible, la structure 10 est suffisamment souple, pour supporter statiquement l'élément 3,  
15        limiter ses débattements et filtrer à basse ou haute fréquence la majorité des efforts F1. On utilise alors les propriétés d'amortissement à basse ou haute fréquence et à faible déformation de la structure dissipative. Sur la figure 2, sous un fort chargement dynamique F2, la raideur des lames  
20        1 croît très fortement avec leur taux de déformation. La structure 10 est donc raidie, ce qui limite les débattements au niveau souhaité. Mais sous l'action combinée de la masse dynamique de l'élément 3, cette structure reste suffisamment souple pour filtrer dès les basses fréquences. On utilise  
25        alors les propriétés d'amortissement à basse ou haute fréquence et à taux de déformation limité de la structure dissipative.

Les caractéristiques de raideur, par extension de tenue, et d'amortissement de l'ensemble restent donc respectivement  
30        pilotées, et cela quel que soit le niveau ou la fréquence de l'excitation dynamique, par celles de la suspension et de la structure dissipative.

Avec la conformation anisotrope présentée ci-dessus, il est donc possible de réaliser une suspension dont la raideur  
35        est faible à basse fréquence et à bas niveau de sollicitations et beaucoup plus forte lorsque les efforts appliqués sont plus importants. Cette forte non-linéarité géométrique permet de réaliser des suspensions souples

amorties tout en intégrant une rigidité à haut niveau de déformation. Les butées des plots amortisseurs ne sont plus nécessaires. De plus, les variations brusques de raideurs liées à des butées mécaniques de fin de course (butée  
5 franche) n'existent plus. Les phénomènes de chocs limitant les durées de vie des équipements sont ainsi supprimés.

Les figures 3a et 3b représentent en coupe un autre mode de réalisation de l'invention sous la forme d'une structure  
10 placée entre la surface incidente 11 de l'élément 2 et une surface rayonnante 9 de l'élément 3. La structure 10 est constituée de deux sous-ensembles 12 et 13 emboîtés l'un dans l'autre à une des extrémités 17. A une autre extrémité 15, le sous-ensemble 13 est partiellement pris en sandwich entre les armatures du sous-ensemble 12 grâce au composant dissipatif  
15 6. Entre les extrémités 15 et 17, les éléments 14 et 16 constituent les lames élastiques de la structure d'interface. Ces lames 14 et 16 représentent respectivement les parties centrales des sous-ensembles 12 et 13, et elles présentent un profil de section évolutive, dont la base est fermement fixée  
20 respectivement aux surfaces incidente 11 et rayonnante 9. Ce profil peut être continu ou discontinu, axisymétrique ou dissymétrique.

L'adoption d'une lame élastique 14 ou 16, par exemple, en matériau composite, tel que les fibres de verre ou carbone,  
25 noyées dans une matrice synthétique polymérisée, permet d'obtenir des caractéristiques mécaniques fortement anisotropes et résistantes sous de fortes charges.

Les liaisons 15 et 17 entre les sous-ensembles 12 et 13 permettent de pré-contraindre les lames en flexion ou  
30 traction ou torsion, de manière à ce que, sous l'effet du poids de l'élément 3, le système se trouve en repos dans une zone de fonctionnement à raideur moyenne.

L'ensemble des caractéristiques dimensionnelles et les matériaux constituant les lames 14 et 16 concourent à  
35 exacerber la non-linéarité de leur comportement en fonction de la charge dynamique appliquée.

Lorsqu'un chargement dynamique est transmis entre les surfaces incidente 11 et rayonnante 9, les lames 14 et 16 se

déforment suivant différents mécanismes préétablis (flexion, flambage, torsion, traction,...) en fonction du niveau et de la fréquence de l'excitation. Ces différents modes de déformation induisent une modification de la raideur du matériau élastique. Les fréquences propres des lames 14 et 16 sont donc modifiées, ce qui permet de contrôler et d'étendre les fréquences de filtrage du procédé.

Afin d'augmenter le comportement dynamique non linéaire de l'élément filtrant, la base du sous-ensemble 12 dispose au niveau de l'extrémité 17, d'un profil 18 présentant une surface de contact potentielle avec le profil 19 de la lame 16, en épousant la forme de la déformée maximale admissible de la lame 16. Le contact n'est pas établi lorsque le taux de déformation de la lame 16 est faible. Au-delà d'un certain seuil, le contact est initié sur une faible portion de la lame 16. Le comportement de la lame est alors faiblement modifié. Si le chargement dynamique augmente, la surface de contact augmente progressivement et le comportement dynamique de la lame 16 est fortement perturbé avec un impact non négligeable sur l'augmentation de raideur.

L'impact d'un tel apport de non-linéarité du type contact permet d'atteindre des forts niveaux de chargement dynamique, que ce soit en basse et haute fréquence sans risque d'endommagement du dispositif. La complémentarité du profil 18 du sous-ensemble 12 et l'état déformé de la lame 16 permet d'éviter toute mise en contact brutal à l'inverse des butées franches connues.

La perturbation de la transmission de l'onde entre la surface incidente 11 et rayonnante 9 est déviée vers le dispositif amortisseur 15, dans une zone assurant des déplacements ou rotations relatifs maximum des lames suivant leur déformation. Les dispositifs amortisseurs 15 pris en sandwich entre une partie rigide du sous-ensemble 12, et les lames élastiques 14 et 16 permettent d'absorber les énergies relatives par l'intermédiaire d'une liaison adéquate quelle soit rigide, rotoïde, sphérique ou souple suivant des directions privilégiées.

L'ensemble du dispositif décrit remplit dans sa globalité la fonction d'amortissement selon l'invention, permettant d'assurer les fonctionnalités de déviation, d'amplification et de conversion des énergies d'origine vibratoire et /ou  
5 acoustiques.

Ainsi, dans l'application qui vient d'être décrite, les dispositifs amortisseurs 15 réalisent une dissipation de l'énergie des vibrations issues des lames 14 et 16 grâce à l'ajout d'un matériau viscoélastique 6 dans des zones 15 où  
10 l'énergie de l'onde vibratoire est concentrée par la micro-géométrie de ce matériau. La structure du matériau permet de dévier et de privilégier un ou des degrés de liberté du matériau pour lequel l'amortissement viscoélastique est le plus efficace. L'application de l'invention permet donc de  
15 dévier l'énergie de l'onde vibratoire incidente dans les zones 15 des lames 14 et 16, puis de la dissiper sous une autre forme dans des zones 15 bien définies et selon des directions qui impliquent certains modes de vibration d'origine mécanique de la paroi rayonnante.

20 Les propriétés internes du matériau composite que constitue la zone 15 influencent la réponse vibratoire des lames 14 et 16 en amortissant ses vibrations. Dès lors, le procédé et le dispositif selon l'invention dispose des fonctionnalités suffisantes pour répondre au besoin de  
25 filtrage et d'amortissement souhaité par l'utilisateur.

Selon l'invention, le dispositif d'amortissement parallèle, utilisé dans la suspension série ou avec toute autre structure, peut prendre différents profils ou géométries, dès lors qu'il respecte le procédé et le  
30 dispositif d'amortissement selon l'invention. La forme la plus simple est représentée sur la figure 4, où le matériau 6 convertisseur de l'énergie peut être agencé entre les deux plaques rigides 18 et 19 de la structure 7, elle-même liée à la lame 1 ou tout élément vibrant par l'intermédiaire de  
35 plaques rigides 4 et 5 si on se réfère au mode de réalisation selon la figure 1. Le mode de fonctionnement privilégié pour la conversion correspond à une déviation des énergies vibratoires issues de la lame 1, amplifiées par les éléments



4 et 5, vers les plaques 18 et 19, qui transfèrent ces énergies vers le matériau dissipatif. Dans le cas présenté, la dissipation est engendrée par un cisaillement dynamique du matériau 6.

5 Dès lors que les énergies vibratoires le justifient, le procédé peut intégrer une fonctionnalité d'amplification des vibrations avant qu'elles soient transmises aux plaques 18 et 19, en favorisant l'effet bras de levier des plaques 4 et 5. Cette amplification peut être aussi réalisée soit par la  
10 géométrie interne de la suspension série elle-même ou de la structure sur lesquelles le dispositif est monté en parallèle, soit par le fait de le fixer entre deux points, non contigus, offrant un différentiel suffisant de déplacements ou de déformations.

15 A titre d'exemple, les figures 5, 6 et 7 illustrent de manière non exhaustive, différentes formes que peut prendre le dispositif d'amortissement parallèle amélioré pour être utilisé dans la suspension série ou dans toute autre structure.

20 La figure 5 illustre une réalisation 7 dans laquelle les armatures 4 et 5 présentent un profil en T, reliées à leur base aux lames 1 et entre lesquelles est intégré, au niveau de leur extrémité respective, le matériau dissipatif 6.

Les figures 6 et 7 illustrent de manière non exhaustive,  
25 des formes particulières que peut prendre le dispositif d'amortissement parallèle 7. Les réalisations sont obtenues à l'aide d'un ensemble d'armatures rigides 44 et 45 alignées, fixées à leurs embases sur la lame 1 ou tout autre structure élastique et indépendantes entre-elles au niveau de leurs  
30 extrémités supérieures. A ces extrémités, leur mouvement relatif correspond à une amplification par effet bras de levier de la réponse vibratoire du composant élastique 1 et est transmis à la surface inférieure du matériau dissipatif 6. La face supérieure de ce matériau dissipatif 6 est  
35 maintenue par une plaque de contrainte rigide continue ou non continue 8a et 8b. Les déformations relatives subies par le matériau dissipatif, maximales d'un côté et nulles de

l'autre, permettent de convertir efficacement un fort niveau d'énergie vibratoire.

Dans les exemples représentés aux figures 4, 5, 6 et 7, la déviation, l'amplification et la conversion sont réalisées  
5 par une mise en œuvre, dite linéique, des dispositifs dans le sens où elle favorise un traitement bidirectionnel. D'autres formes d'allure surfacique sont identifiées dès lors qu'elles permettent un traitement multidirectionnel.

Ainsi, une première forme surfacique du dispositif  
10 amortisseur présentée en figure 12 est une déclinaison du composant dissipatif 7 monté sur l'élément 1. La structure 50 continu ou non, constituée de matériau isotrope ou non, homogène, agrégataire ou composite, est fixée rigidement par sa base 50a à l'élément 1 soumis à des vibrations. De part  
15 ses caractéristiques matériaux et géométriques, on donne au composant 50 une raideur judicieuse en flexion et cisaillement pour dévier, amplifier les énergies vibratoires de la structure rayonnante. Son extrémité supérieure 50b est quant à elle suffisamment souple pour se déformer telle une  
20 membrane. Ces déformations sont une résultante des déformations de l'élément vibrant 1, amplifiées par la géométrie et le comportement du composant 50.

La peau externe 50b est reliée à une plaque de contrainte 27 par l'intermédiaire d'un composant dissipatif 6.

25 La plaque de contrainte 27, continue ou non, dense et de faible épaisseur, dispose d'une raideur en membrane élevée et faible en flexion, à l'inverse de la peau supérieure 50b.

Ces différences de modes et d'amplitude de déformation imprime au matériau dissipatif 6, de forts niveaux de  
30 déformation interne sur toute la surface de traitement et assure ainsi une conversion performante des énergies vibratoires.

On notera de plus que les motifs particuliers du composant 50 en privilégiant une souplesse en  
35 flexion/compression en combinaison avec une plaque de contrainte 27 rigide et dense constitue un ensemble « masse-ressort » avec des qualités intrinsèques d'un écran

acoustique offrant une atténuation de la transmissibilité acoustique.

Le dispositif surfacique qui vient d'être décrit, comme l'ensemble des dispositifs surfaciques présentés ci après, 5 dupliqués judicieusement sur la surface dont la réponse vibratoire est à atténuer, est particulièrement adapté à l'amortissement et l'atténuation vibro-acoustique de plaques de grandes dimensions, par exemple des tôles minces de carrosserie.

10 Pour adapter ce dispositif surfacique au traitement des plaques courbes ou gauches, la figure 13 propose une variante de dispositif surfacique 7. La face inférieure 50a de la structure 50, de conformation anisotrope, est alors découpée suivant des lignes ou courbes sécantes ou non, 53a et 53b.

15 Compte tenu des faibles raideurs en flexion de la plaque de contrainte 27 et du matériau dissipatif 6, l'ensemble 7, lors de sa mise en place, est alors capable de s'adapter au profil géométrique plan ou gauche de la structure vibrante 1. Une fois liée rigidement à cette structure 1 par 20 l'intermédiaire de la peau 50a, le dispositif 7 réintègre l'ensemble des caractéristiques et performances du concept générique présenté en figure 12.

Sur les figures 8 et 9, on a représenté une forme surfacique 7 en "marguerite" dans laquelle à titre d'exemple 25 applicable aussi pour les autres formes, le matériau dissipatif 6 décrit précédemment peut être formé par des éléments viscoélastiques, piézoactifs, magnétostrictifs, ou autre possédant une fonction de conversion d'énergie en une autre forme d'énergie. Ces éléments convertissent alors 30 l'énergie vibratoire en énergie thermique, électrique, magnétique ou autre.

Dans cette réalisation, un composant dissipatif 7, présenté en coupe sur la figure 9 est constitué d'un ensemble de lames indépendantes 22, solidaires au niveau de leur 35 partie centrale. Cette partie centrale est liée, par l'interface rigide 9, au composant élastique 1, ou tout autre structure vibrante, dont la réponse vibratoire est à atténuer. Chaque lame 22 est munie d'au moins une ondulation

24 permettant d'amplifier dans des directions privilégiées les mouvements vibratoires perçus au niveau de l'interface 9. La surface plane inférieure 26a à l'extrémité de chaque lame 22 est reliée au composant 1 par l'intermédiaire d'un  
5 composant dissipatif 25a. La surface plane supérieure 26b à l'extrémité de chaque lame 22 est reliée à une plaque de contrainte 27 par l'intermédiaire d'un autre composant dissipatif 25b. La plaque de contrainte est continue et permet ainsi de relier par l'intermédiaire du composant  
10 dissipatif 25 une multitude de motifs « marguerite » comme cela a été schématisé sur la figure 8.

Ainsi, la conformation permet d'amplifier l'ensemble des mouvements relatifs du composant 1, vus au niveau des interfaces 9, des extrémités planes des lames 22 et de la  
15 plaque de contraintes 27. Cette amplification est déviée au sein du matériau dissipatif pour une conversion d'énergie performante.

Sur les figures 10 et 11, on a représenté, par extension et association judicieuse des caractéristiques du dispositif  
20 amortissant, une variante du dispositif de filtrage et d'atténuation entre une surface incidente 9 et une surface rayonnante 11 découlant de l'exemple de réalisation selon la figure 3. Chaque motif, de symétrie cyclique, est ainsi constitué d'un assemblage judicieux autour d'un anneau 30, de  
25 lames élastiques 31 et 32. Cet assemblage intègre une fonction amortissante par l'intermédiaire de matériaux dissipatifs 33 disposé entre l'anneau 30 et la lame 31 et de matériaux dissipatifs 34 disposé entre les lames 31 et 32, constituant la structure d'interface. Dans ce cas, chacun des  
30 motifs dispose de bases constituant ses surfaces incidente et rayonnante, vis à vis des motifs environnants.

Les lames 31 et 32 présentent un profil de section évolutive, convergeant vers des parties centrales fermement fixées aux surfaces incidente et rayonnante, telles les  
35 surfaces respectives 9 et 11 représentées sur la figure 3. Ce profil peut être continu ou discontinu, axisymétrique ou dissymétrique.

L'anneau 30 de liaison des lames 31 et 32 permet de pré-contraindre, à partir de ces propriétés élastiques, les lames en flexion ou traction ou torsion, de manière à ce que, sous l'effet du poids de l'élément pesant 36 induisant la surface  
5 rayonnante 11, le système se trouve en repos dans une zone de fonctionnement à faible raideur.

L'ensemble des caractéristiques géométriques et matériau des lames 31 et 32 concourent à exacerber la non-linéarité de son comportement en fonction de l'onde vibratoire. Sur la  
10 figure 11, on voit en coupe que les lames 31 sont enroulées autour de l'anneau 30 à une extrémité et sont réunies à l'autre extrémité pour délimiter la surface incidente 9. De la même manière, le profil intérieur des lames 32 présente une prédisposition à épouser le profil extérieur des lames 31  
15 lorsque ces dernières atteignent une amplitude de déformation maximale. Les lames 32 sont réunies à l'autre extrémité pour délimiter la surface rayonnante 11.

Lorsqu'un chargement dynamique est transmis entre les surfaces incidente 9 et rayonnante 11, les lames se déforment  
20 suivant différents mécanismes préétablis (flexion, flambage, torsion, traction,...) en fonction de leur profil initial, du niveau et de la fréquence de l'excitation. Ces différents types de déformation induisent une modification de la raideur du dispositif de filtrage.

25 Les fréquences propres des lames sont donc modifiées, ce qui permet de contrôler et d'étendre les fréquences de filtrage de l'ensemble.

Afin d'augmenter le comportement dynamique non-linéaire de l'élément filtrant, le profil intérieur de la lame 32  
30 présente une surface de contact potentielle avec la lame 31, en épousant la forme de la déformée maximale admissible de la lame 31. Le contact n'est pas établi lorsque le taux de déformation de la lame 31 est faible. Au-delà d'un certain seuil, le contact est initié sur une faible portion de la  
35 lame 31. Le comportement de la lame est faiblement modifié. Si le chargement dynamique augmente, la surface de contact augmente progressivement et le comportement dynamique de la lame 31 est fortement perturbé avec un impact non négligeable

sur l'augmentation de raideur, et donc sur l'adaptativité de la fonction découplage.

L'ensemble des déformations des lames 31 et 32 génèrent des rotations relatives autour de l'anneau 30. Les énergies de déformations sont donc déviées et amplifiées dans cette zone. La présence de matériaux amortissants entre les interfaces des éléments 30, 31 et 31, 32 permet d'assurer la fonction de conversion des énergies d'origine vibratoire et/ou acoustique en une autre forme d'énergie, permettant d'intégrer de l'amortissement dans la structure sur laquelle le dispositif est monté.

Cet exemple particulier est utilisable pour amortir les vibrations des machines tournantes ou toutes autres structures vibrantes. Les lames 31 peuvent être reliées à un moyen de jonction au niveau de l'élément 3 par la surface 9 et les lames 32 au niveau de l'élément 2 par la surface 11.

Il va sans dire que des outils de calcul de dimensionnement et des méthodes permettent d'adapter la géométrie des lames et l'ensemble des composants dissipatifs décrits afin d'obtenir un optimum de performance. La géométrie de la lame est établie de façon à contrôler les différentes fréquences de filtrage souhaitées. Suivant l'état de déformation du dispositif selon l'invention (sous un chargement appliqué), on comprend que l'on passe d'une configuration de suspension avec des fréquences de coupure données à un autre état pour lequel les fréquences de coupure sont modifiées. Lorsqu'on augmente le chargement, on recherche une propriété de non-linéarité qui permet de limiter l'amplitude des débattements ou déplacements sous des forts niveaux de chargement.

**REVENDEICATIONS**

1. Procédé d'atténuation et de filtrage de l'amplitude des vibrations d'origine mécanique d'une structure à découpler, caractérisé en ce qu'on réalise un filtrage de l'onde vibratoire incidente associé à une atténuation, par apport d'amortissement de l'onde vibratoire filtrée transmise à la structure, sur une très large bande de fréquence et d'amplitude d'efforts mécaniques appliqués sur ladite structure.

2. Procédé d'atténuation et de filtrage selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il associe une suspension série sous la forme d'un ensemble suspension monté en série entre deux éléments de la structure, à un dispositif amortisseur monté en parallèle de la suspension.

3. Procédé d'atténuation et de filtrage selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le dispositif amortisseur est de type parallèle et présente une géométrie interne apte à réaliser une déviation, éventuellement une amplification et une localisation des vibrations pour assurer une atténuation de la réponse vibratoire de ladite structure, et en ce que la suspension série présente en même temps une fonction de support statique suffisamment rigide, et des fonctions dynamiques de filtrage à caractéristiques variables suivant le niveau du chargement appliqué à la structure.

4. Dispositif de filtrage et d'atténuation des vibrations entre un premier élément (2) soumis à une onde vibratoire incidente et un second élément (3) rayonnant une onde vibratoire filtrée, caractérisé en ce qu'il comprend une structure d'interface (10) de transfert d'énergie vibratoire constituée d'au moins un composant élastique (1) et d'au moins un composant dissipatif (7) fixé en parallèle du composant élastique, pour assurer une filtration et une atténuation de l'onde vibratoire incidente.

5. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 4, caractérisé en ce que le composant dissipatif (7) est constitué de deux armatures rigides distinctes (4, 5) permettant d'assurer, ponctuellement ou continûment, des fonctions de déviation, éventuellement, par

un effet de bras de levier, d'amplification des énergies vibratoires engendrées par les composants élastiques (1) vers un matériau dissipatif (6) interposé entre elles, ledit composant dissipatif (6) assurant un amortissement du  
5 composant élastique.

6. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 4, caractérisé en ce que le composant dissipatif (7) présente un profil linéique et est constitué d'un ensemble d'armatures rigides (4, 5) alignées, fixées par  
10 leurs bases sur le composant (1), ou tout autre structure vibrante, et indépendantes entre-elles de telle façon que leurs mouvements relatifs, correspondant à une amplification par effet de bras de levier de la réponse vibratoire de la structure élastique, sont transmis par leur extrémité à un  
15 matériau dissipatif (6), sur lequel est montée une plaque de contrainte continue ou non, pour transférer l'énergie vibratoire vers l'ensemble d'armatures (4, 5).

7. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 4, caractérisé en ce que le composant  
20 dissipatif (7) de profil surfacique est constitué d'un élément (50), à raideur adaptée, isotrope ou non, continu ou non, homogène ou non, fixé rigidement d'un coté sur le composant (1), ou tout autre élément vibrant, tel que les ondes vibratoires, déviées, localisées et amplifiées par sa  
25 structure interne sont transmises, par sa face supérieure, à un matériau dissipatif (6), lui-même contraint sur sa face supérieure par une plaque continue ou localement discontinue (27), capable d'assurer, au travers du matériau dissipatif, le transfert des énergies vibratoires respectivement vers  
30 l'ensemble ou un ensemble d'armatures (50).

8. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 4, caractérisé en ce que le composant dissipatif (7) est de révolution et est constitué d'un ensemble d'armatures rigides (22), réparties cycliquement ou  
35 non autour d'une partie centrale (9), fixé rigidement ou non à une extrémité sur le composant (1) ou tout autre structure vibrante d'un coté, et indépendant à l'autre extrémité, de façon que les mouvements relatifs de ces armatures soient



transmis à des matériaux dissipatifs (25), et de l'autre à une plaque de contrainte (27) continue ou non apte à assurer, au travers des matériaux dissipatifs, le maintien de l'ensemble des armatures (2).

5        9. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 4, caractérisé en ce que le composant élastique (1) comprend un assemblage de deux sous-ensembles de révolution (12, 13), à profil évolutif continu ou non de type  
10 lame élastique (14, 16), dont une au moins de leurs extrémités (17) présente une surface de contact évolutive, l'ensemble étant complété par une zone (15) dans laquelle sont insérés les matériaux dissipatifs (6).

10. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 9, caractérisé en ce que les lames élastiques  
15 (14, 16) présentent une raideur potentiellement non linéaire conférée par leur profil géométrique évolutif pour assurer un contact progressif de la lame (16) avec le profil (18) complémentaire de l'autre lame (14), pour assurer une fréquence de filtrage évolutive et un débattement relatif  
20 maîtrisé des lames en fonction de la charge dynamique appliquée.

11. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 4, caractérisé en ce que la structure d'interface est de révolution ou non, et est composée d'une  
25 lame élastique (31) reliée rigidement à l'élément (3) et d'une lame élastique (32) reliée rigidement à l'élément (2), les lames étant au niveau de leurs extrémités libres reliées entre elles et enroulées autour d'un anneau élastique ou non (30) par l'intermédiaire de couches de matériaux dissipatifs  
30 (6), et venant en contact direct en fonction de la charge dynamique appliquée pour assurer la fonction de filtrage et d'atténuation non linéaire.

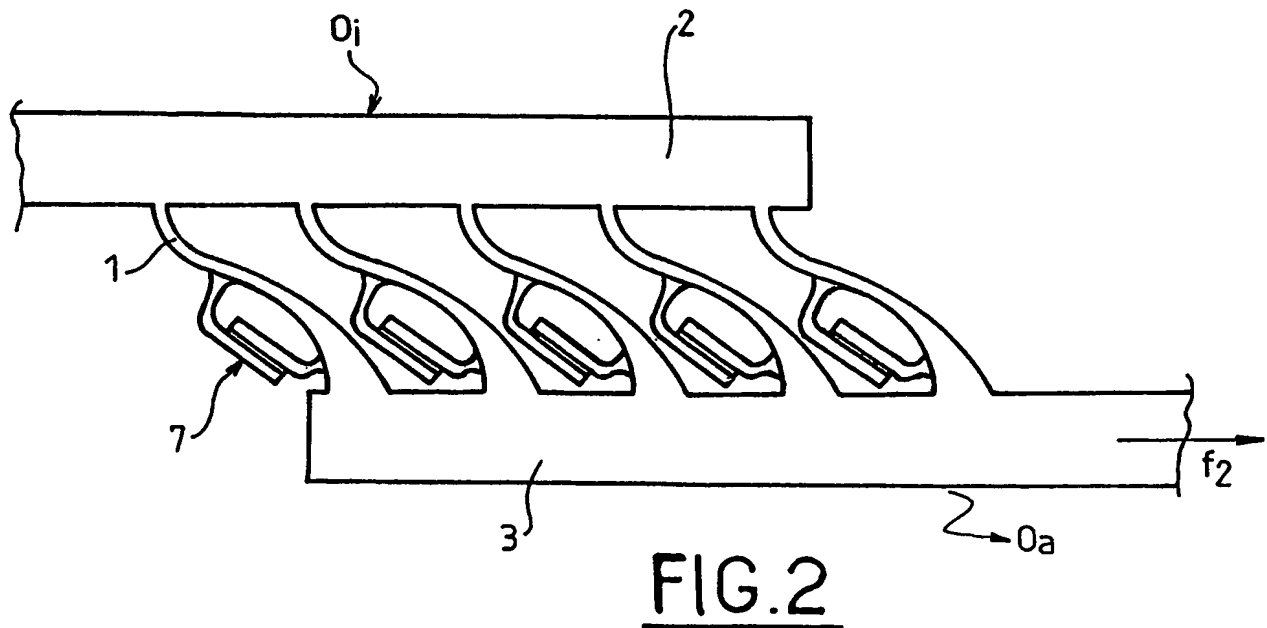
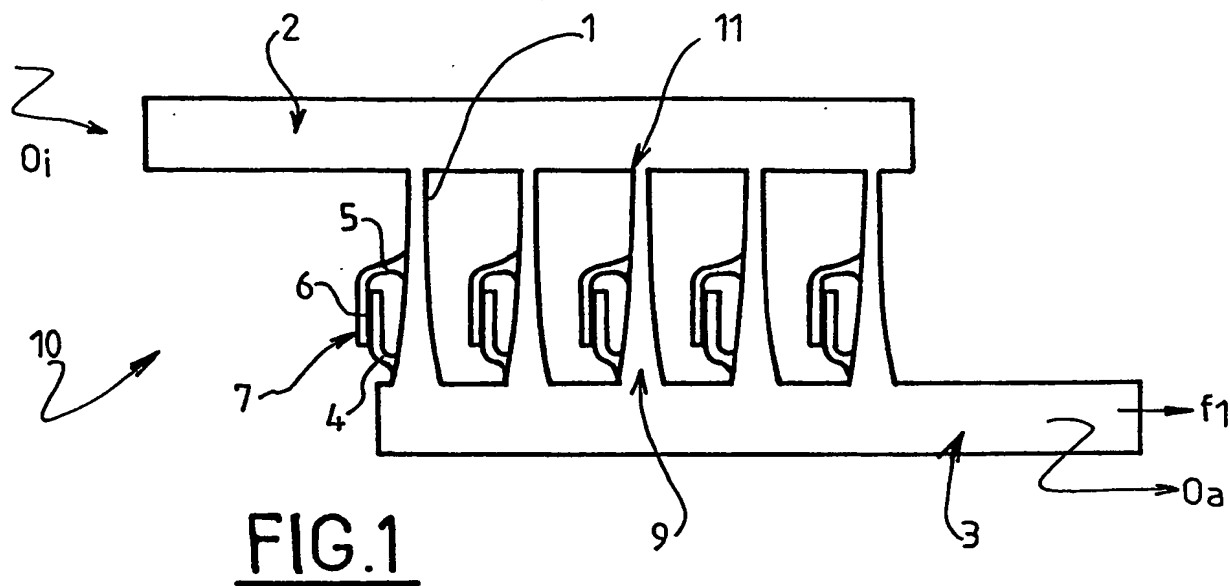
12. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 11, caractérisé en ce que les lames élastiques  
35 (31, 32) présentent une raideur potentiellement non linéaire grâce à leur profil géométrique évolutif et par le contact progressif entre les lames (31, 32) dont les profils sont mutuellement complémentaires de leur déformation maximale

admissible respective, pour assurer en fonction de la charge dynamique appliquée la fréquence de filtrage évolutive et un débattement relatif maîtrisé voire limité des éléments.

13. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon les  
5 revendications 4 à 12, caractérisé en ce que le matériau dissipatif (6) réalise la conversion de l'énergie vibratoire en une autre forme d'énergie, par exemple thermique par frottement entre matériaux ou avec des matériaux viscoélastiques, électrique avec des matériaux  
10 piézoélectriques, magnétique avec des matériaux magnéto-strictifs, ou toute autre forme d'énergie.

14. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon les revendications 4 à 12, caractérisé en ce que le composant élastique (1) présente au moins deux dimensions et peut être  
15 formé par des assemblages de poutres, de barres droites ou courbes, de volumes pleins, de plaques planes ou de formes plus complexes et en ce que ses propriétés élastiques sont extraites à partir de matériaux élastiques, métalliques ou non, homogène ou non, isotropes ou anisotropes.

15. Dispositif de filtrage et d'atténuation selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'élément (50) constituant le composant dissipatif (7) de profil surfacique, intègre des propriétés d'isolation thermique et acoustique telles que par exemple des mousses alvéolaires ou composites  
25 à base de liège, permettant au composant dissipatif (7) de conserver une performance amortissante sur une large gamme de température et de posséder, en plus, les performances intrinsèques d'un écran acoustique et d'un isolant thermique.



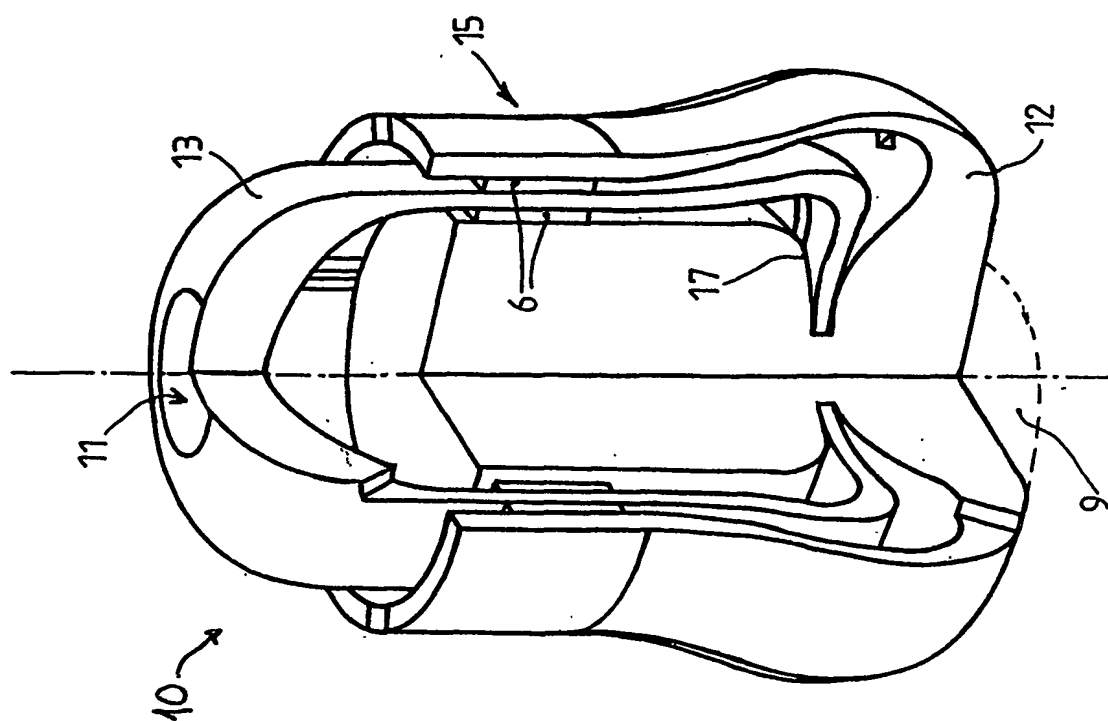


FIG. 3a

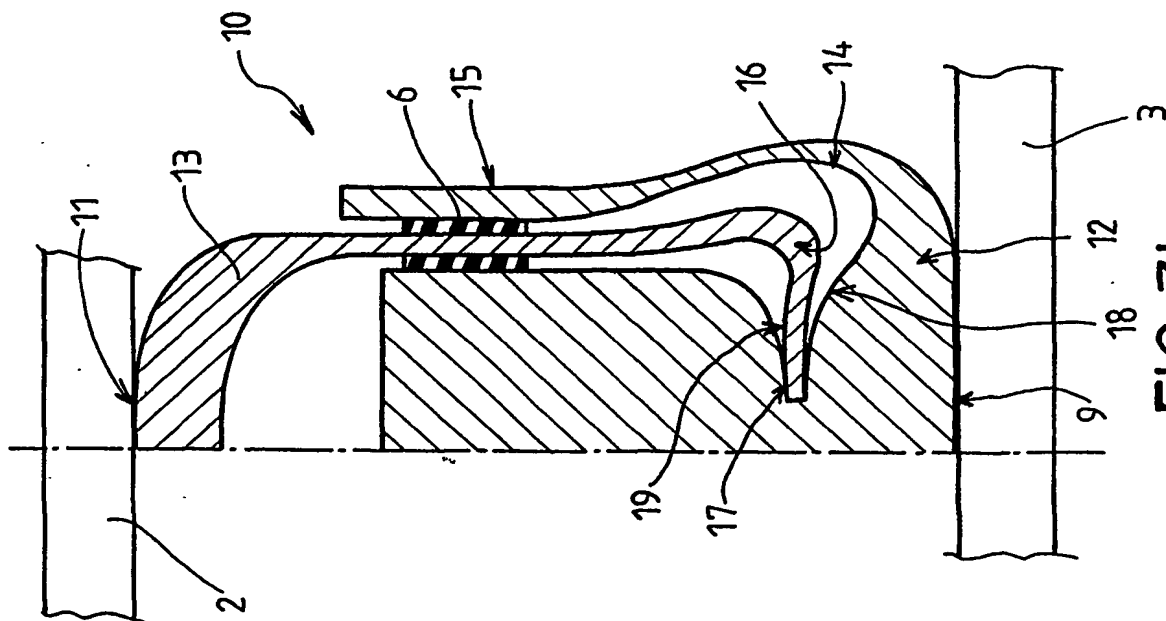
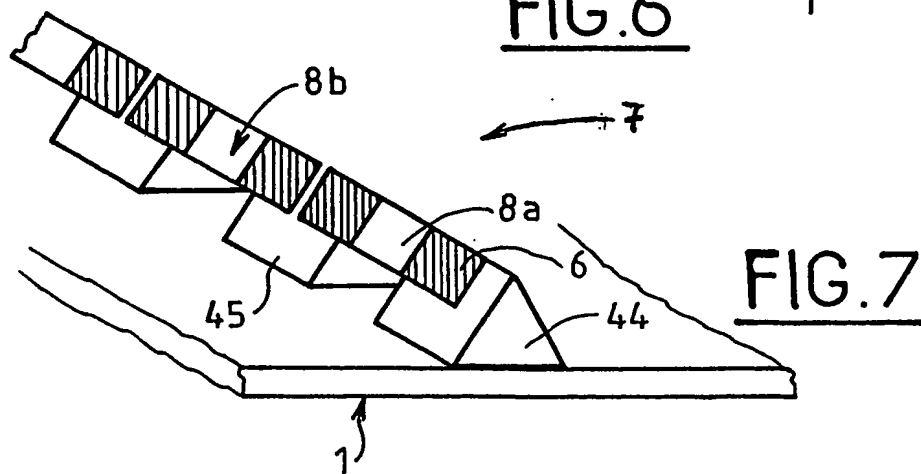
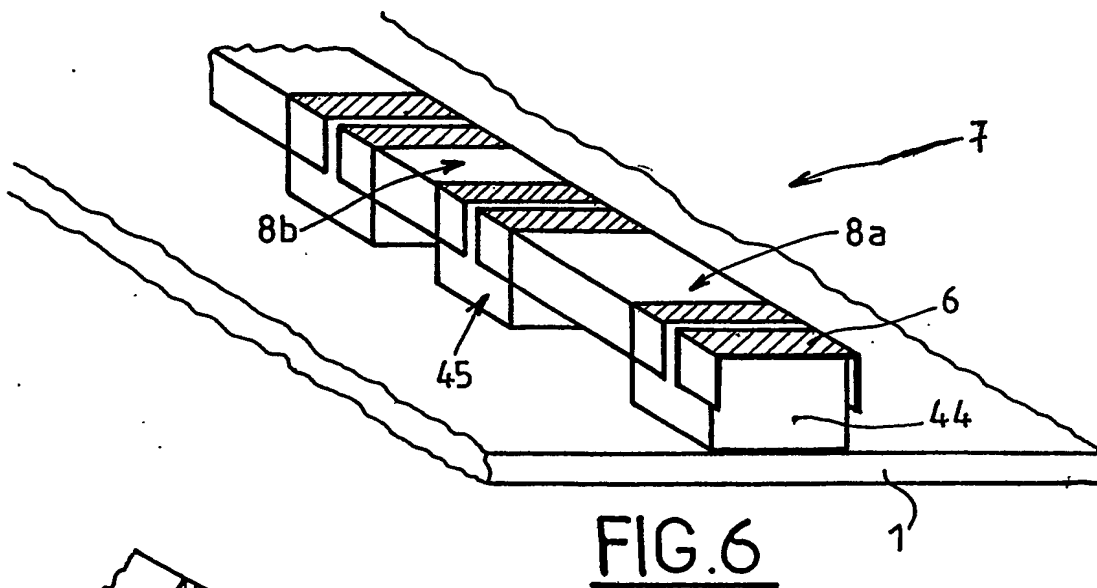
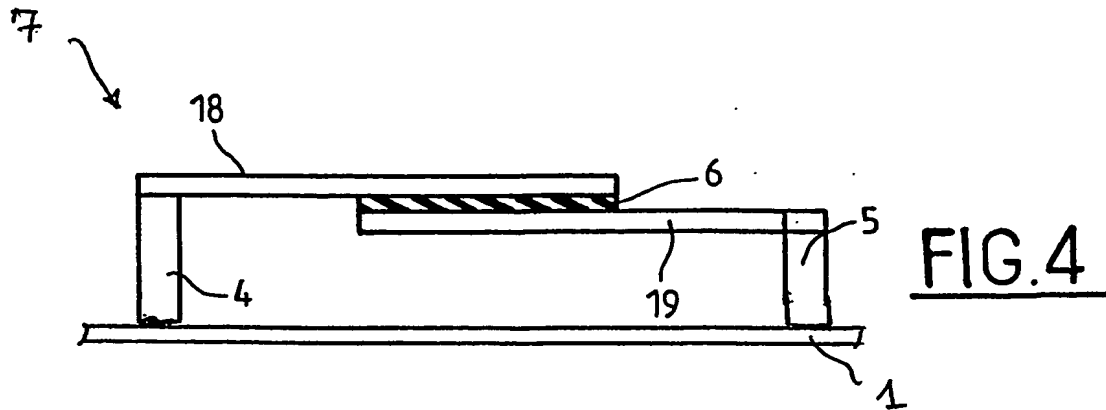
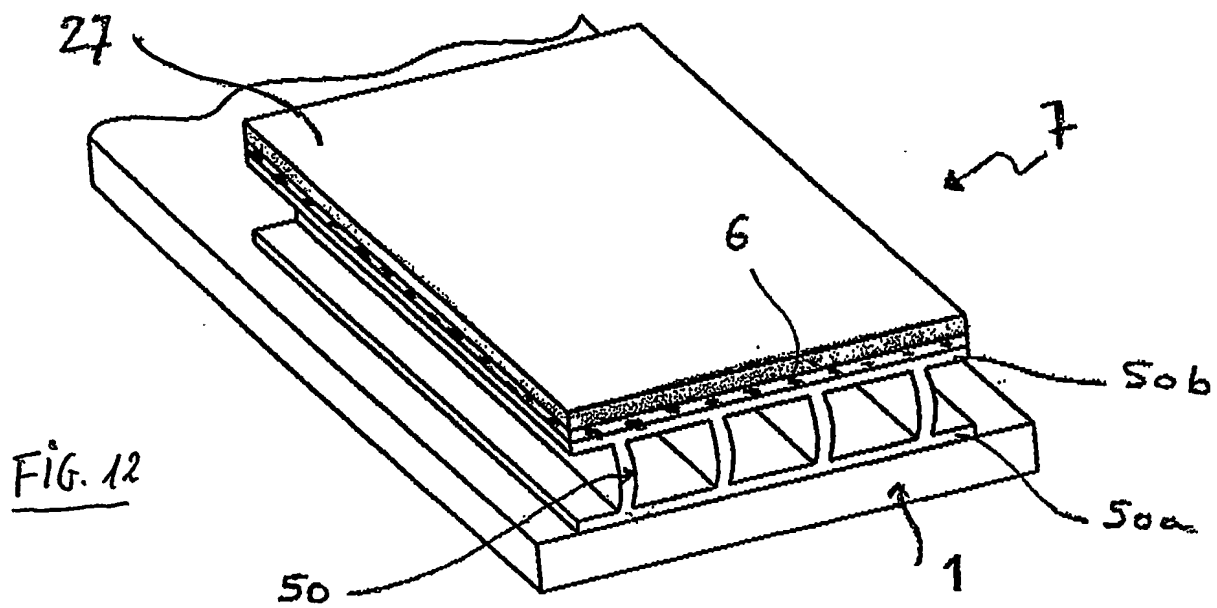
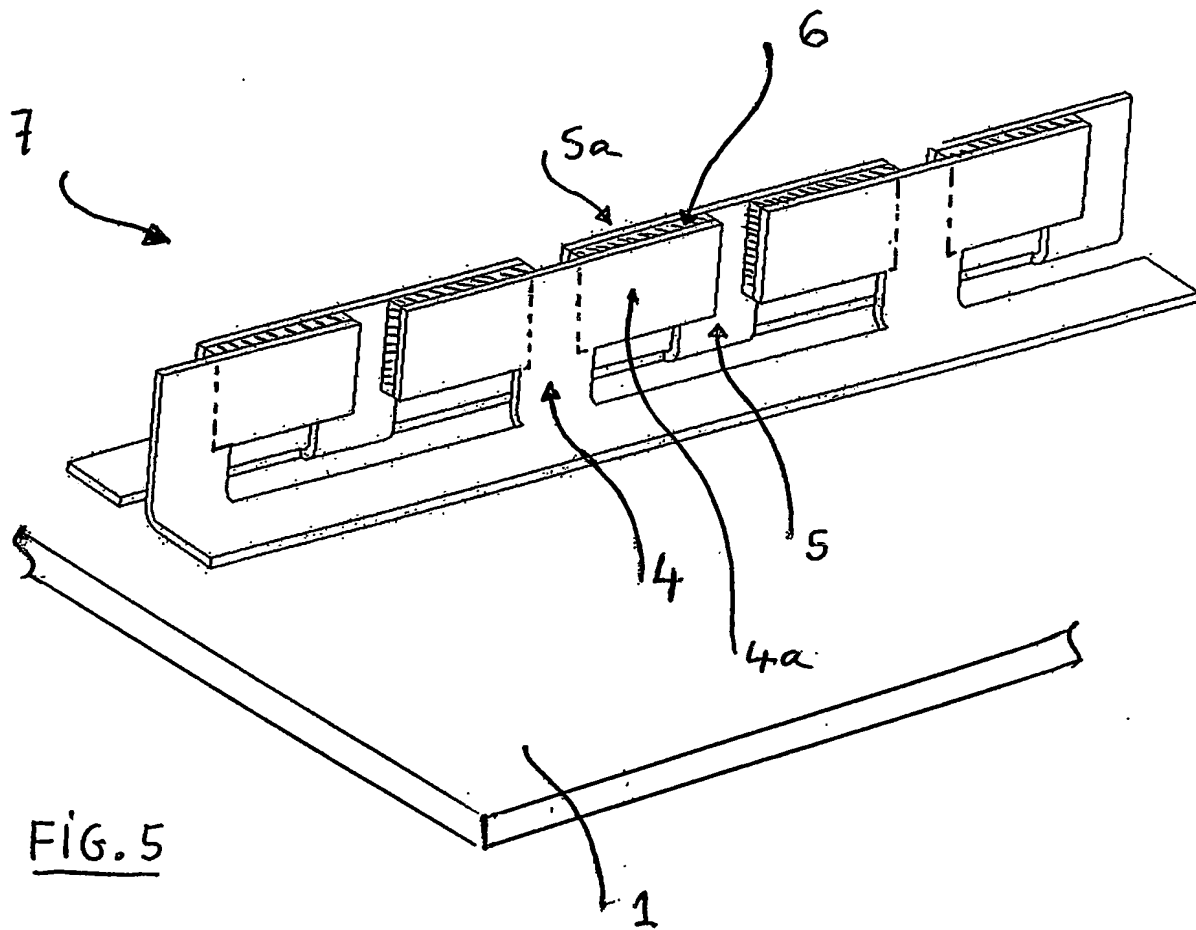


FIG. 3b





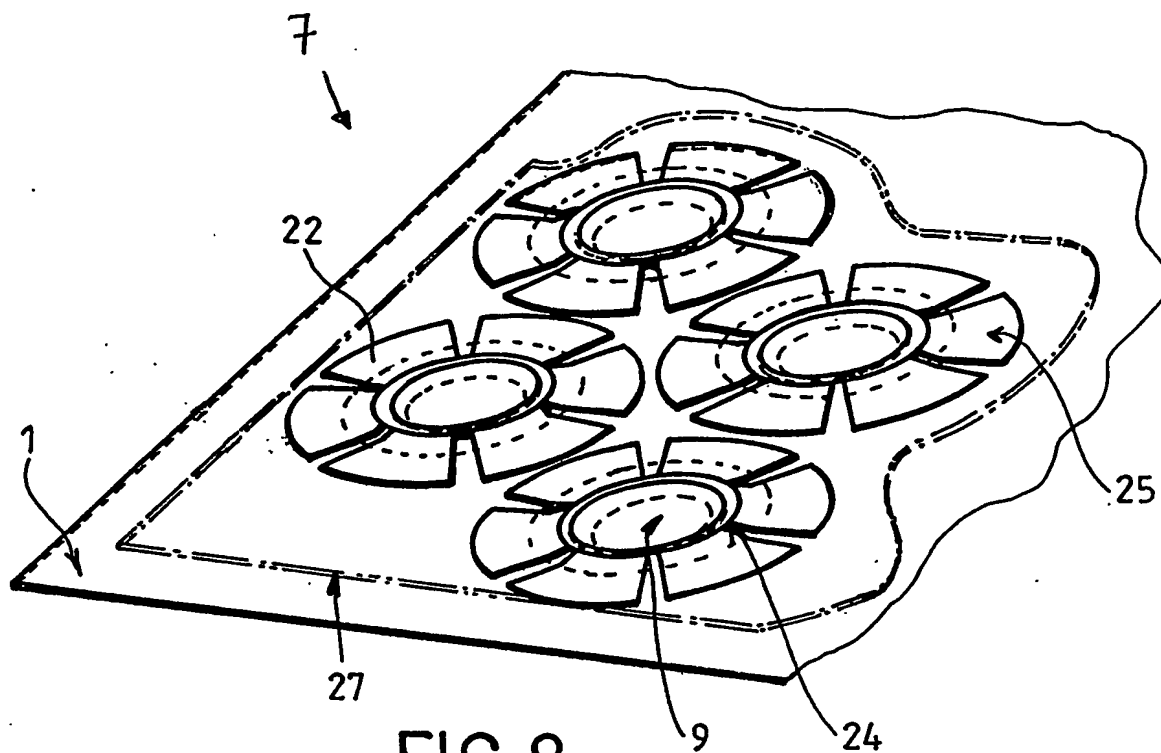


FIG. 8

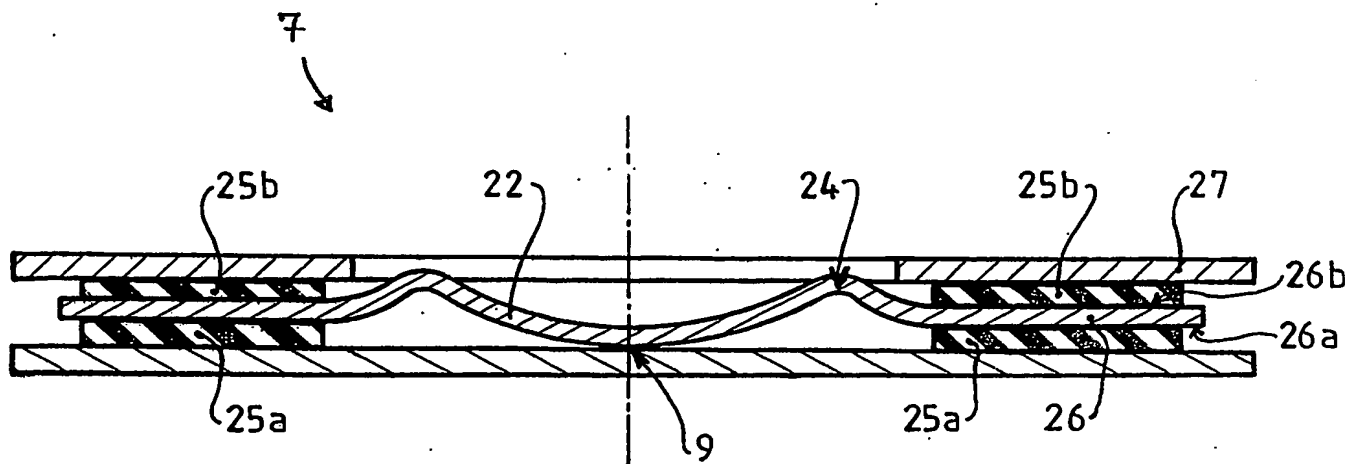


FIG. 9

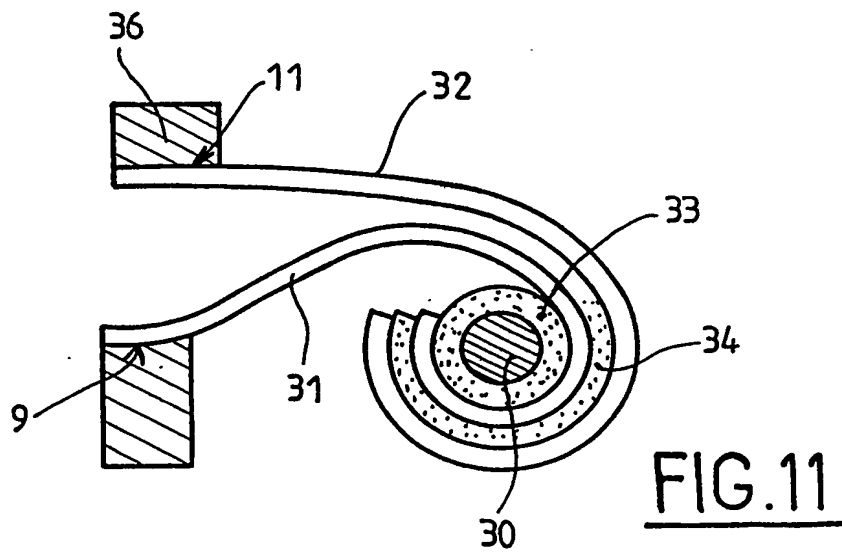
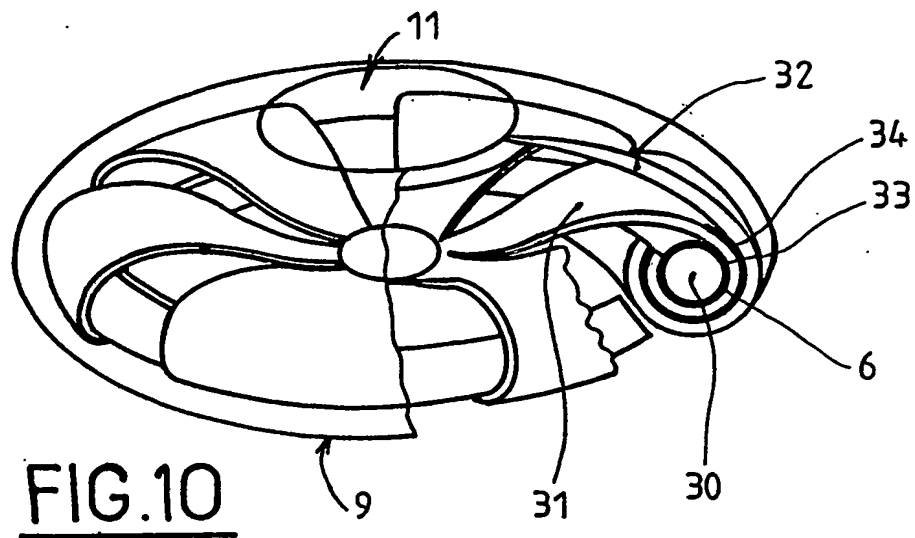
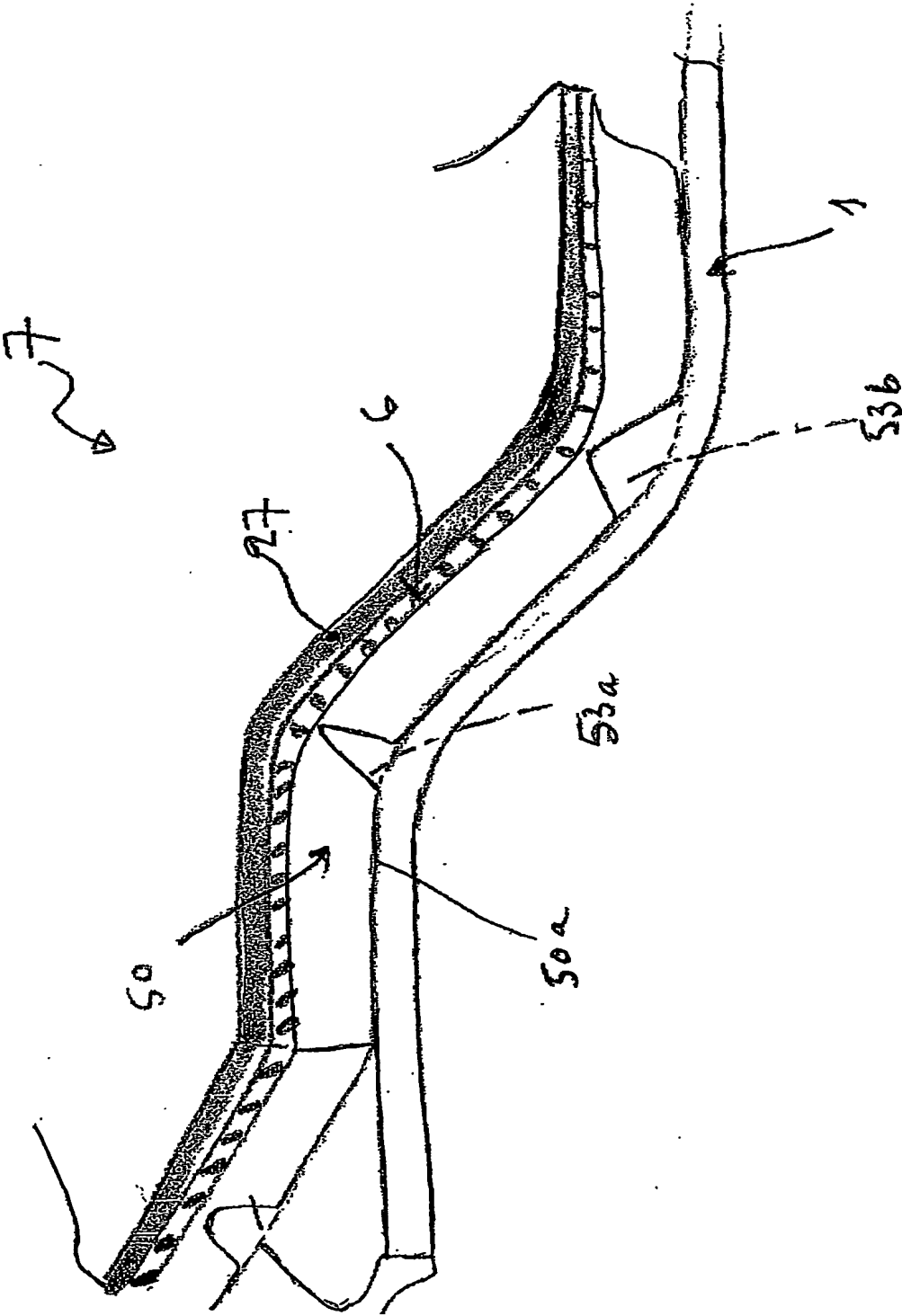




FIG. 13



FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/000809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F16F13/04 F16F15/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F16F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/022525 A1 (HARTEL VOLKER ET AL) 21 February 2002 (2002-02-21)	1,4
A	page 2, paragraph 27 - page 3, paragraph 31; figure 1	6,9
A	FR 2 739 213 A (ARTEC AEROSPACE SARL) 28 March 1997 (1997-03-28)	1-14
	page 2, line 28 - page 11, line 18; figures 1-6	
A	FR 2 194 897 A (LIF SA) 1 March 1974 (1974-03-01)	1-14
	page 2, line 21 - page 4, line 33; figures 1-15	
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 August 2004

Date of mailing of the international search report

06/09/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Prussen, J

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/000809

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 251 076 A (BURKE DANIEL M) 17 May 1966 (1966-05-17) column 4, line 66 - column 6, line 70; figures 1-3 -----	1-14
A	FR 950 411 A (ACEC) 27 September 1949 (1949-09-27) page 2, line 11 - page 3, line 80; figure 1 -----	1-14

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/000809

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 2002022525	A1	21-02-2002	DE	10029564 A1	03-01-2002
			EP	1167808 A2	02-01-2002
FR 2739213	A	28-03-1997	FR	2739213 A1	28-03-1997
			AU	704093 B2	15-04-1999
			AU	7133896 A	09-04-1997
			CA	2230904 A1	27-03-1997
			DE	69629307 D1	04-09-2003
			DE	69629307 T2	19-02-2004
			EP	0852050 A1	08-07-1998
			ES	2202472 T3	01-04-2004
			WO	9711451 A1	27-03-1997
			JP	11514454 T	07-12-1999
			US	6068081 A	30-05-2000
FR 2194897	A	01-03-1974	FR	2194897 A1	01-03-1974
			BE	803031 A1	16-11-1973
			DE	2338917 A1	14-02-1974
			ES	219662 Y	01-02-1977
			NL	7310671 A	05-02-1974
US 3251076	A	17-05-1966	NONE		
FR 950411	A	27-09-1949	US	2516072 A	18-07-1950
			BE	471653 A	
			DE	896581 C	12-11-1953
			LU	28356 A	
			NL	68927 C	
			NL	80171 C	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR2004/000809

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 F16F13/04 F16F15/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 F16F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2002/022525 A1 (HARTEL VOLKER ET AL) 21 février 2002 (2002-02-21)	1,4
A	page 2, alinéa 27 - page 3, alinéa 31; figure 1	6,9
A	FR 2 739 213 A (ARTEC AEROSPACE SARL) 28 mars 1997 (1997-03-28)	1-14
	page 2, ligne 28 - page 11, ligne 18; figures 1-6	
A	FR 2 194 897 A (LIF SA) 1 mars 1974 (1974-03-01)	1-14
	page 2, ligne 21 - page 4, ligne 33; figures 1-15	
	----- -/-	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

27 août 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

06/09/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Prussen, J

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR2004/000809

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 3 251 076 A (BURKE DANIEL M) 17 mai 1966 (1966-05-17) colonne 4, ligne 66 - colonne 6, ligne 70; figures 1-3	1-14
A	FR 950 411 A (ACEC) 27 septembre 1949 (1949-09-27) page 2, ligne 11 - page 3, ligne 80; figure 1	1-14

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/000809

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002022525	A1	21-02-2002	DE	10029564 A1	03-01-2002
			EP	1167808 A2	02-01-2002
FR 2739213	A	28-03-1997	FR	2739213 A1	28-03-1997
			AU	704093 B2	15-04-1999
			AU	7133896 A	09-04-1997
			CA	2230904 A1	27-03-1997
			DE	69629307 D1	04-09-2003
			DE	69629307 T2	19-02-2004
			EP	0852050 A1	08-07-1998
			ES	2202472 T3	01-04-2004
			WO	9711451 A1	27-03-1997
			JP	11514454 T	07-12-1999
			US	6068081 A	30-05-2000
FR 2194897	A	01-03-1974	FR	2194897 A1	01-03-1974
			BE	803031 A1	16-11-1973
			DE	2338917 A1	14-02-1974
			ES	219662 Y	01-02-1977
			NL	7310671 A	05-02-1974
US 3251076	A	17-05-1966	AUCUN		
FR 950411	A	27-09-1949	US	2516072 A	18-07-1950
			BE	471653 A	
			DE	896581 C	12-11-1953
			LU	28356 A	
			NL	68927 C	
			NL	80171 C	